

中国新疆的沙尘天气与风送沙尘的理化特征

周宏飞¹ 崔旺诚¹ 魏文寿¹ 矢吹贞代² 刘明哲¹

(¹ 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐, 830011)

(² 日本理化学研究所, 日本和光市, 351-0198)

摘要: 本文利用中日合作研究项目“亚洲风送沙尘及其对气候环境的影响研究”(ADEC), 在中国科学院策勒沙漠研究站和阿克苏水平衡试验站的有关监测数据和新疆50站1960-2001年有关地面气象观测资料, 对新疆的沙尘天气变化规律及沙尘的理化特征, 进行了比较系统的分析。

关键词: 新疆; 风送沙尘; 沙尘暴; 气溶胶。

1 前言

新疆位居亚洲大陆腹地, 气候干燥, 地表裸露, 具有丰富的沙尘物质。是亚洲沙尘重要的源区之一。新疆的沙尘天气, 尤其是塔克拉玛干沙漠地区的沙尘天气发生频率位居全国之首^[1]。沙尘由沙尘暴注入到5-6km的高空后, 在西风带的作用下, 自西向东作长距离的输送, 到达数千里外的太平洋及以远的北美地区。降落在太平洋及以远地区的沉降约占亚洲沙尘总释放总释放量的50%^[2]。可见, 亚洲沙尘对区域辐射平衡和气候变化有着显著的影响; 同时沙尘天气对农业生产、生态环境、人类健康产生了极大的危害。

对新疆沙尘天气发生的成因, 时空分布以及沙尘的理化特征还缺乏比较系统的研究。本文利用中日合作研究项目“亚洲风送沙尘及其对气候环境的影响研究”有关的监测数据以及地面气象观测资料, 对新疆的沙尘天气及沙尘理化特征, 进行了比较系统的分析。

2 新疆的沙尘天气特征分析

2.1 新疆沙尘天气的时空分布

以天山山脉为界, 可以把新疆划分为北疆和南疆, 北疆以准噶尔盆地为中心, 分布有中国第二大沙漠-古尔班通古特沙漠; 南疆以塔里木盆地为中心, 分布有中国第一大沙

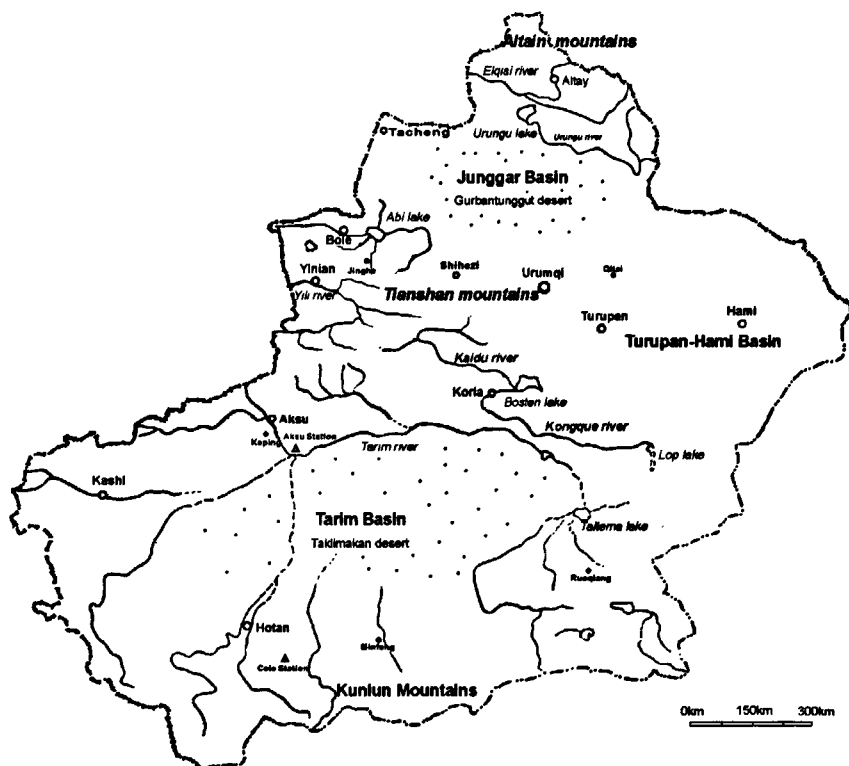


图1 新疆分区图

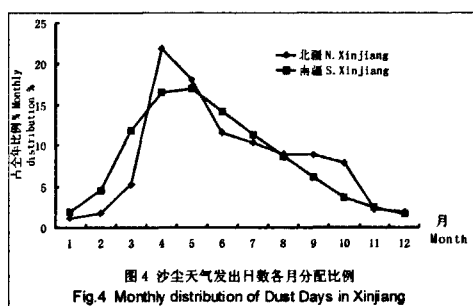
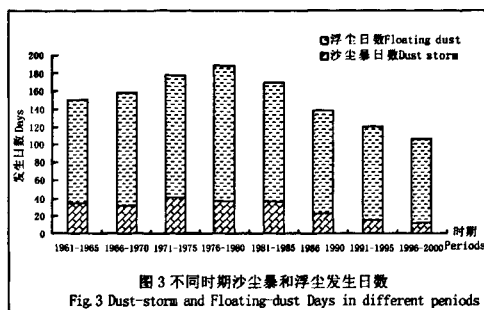
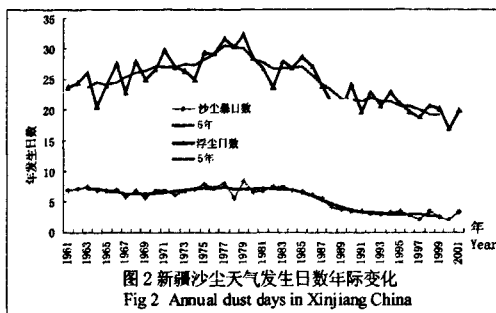
Fig. Map of Xinjiang

漠-塔克拉玛干沙漠(见图1)。两大沙漠地区气候极端干旱,地表裸露,是沙尘天气的高发区,由于地势、气候等的差异,使得新疆各地区沙尘天气的发生和变化具有不同的特征。

2.1.1 年际与年内变化

图2是41年来新疆的沙尘暴和沙尘天气发生日数的变化过程(新疆50个气象站平均)。可以看出,从20世纪60年代到90年代沙尘天气变化略有波动,总的趋势是在减少,尤其是自80年代中期到20世纪末,减少趋势非常明显,绝大多数台站在70年代达到高峰。沙尘暴日数平均从1981-1985年的35.2天减少到1995-2000年的12.6天。图3显示了不同时期沙尘暴和浮尘的发生日数变化。

从沙尘天气发生的统计资料显示,总体上说,新疆沙尘天气年内分配主要集中在4-10月份。春4-5月份为高发时段,可占全年的三分之一左右。冬季较少发生,北疆4月份最多,南疆5月份最多,北疆集中度大于南疆,图4是南北疆沙尘天气年内分配,北疆自西向东沙尘暴高发时段的起始时间由12时延至17时,峰值出现在18-21时,沙尘暴历时一般在1小时以内^[3]。南疆一般发生在14-20时,平均历时2.2小时^[4]。



2.1.2 地域分布

从地形、地貌特征来看,北疆和南疆分别有古尔班通古特沙漠和塔克拉玛干沙漠,在沙漠的中心地带均为沙尘天气的高发区。从沙漠中心向盆地四周、沙尘天气发生呈递减的规律性变化。另外在天山和昆仑山北坡,准噶尔盆地南缘和塔里木盆地南缘,均存在一个沙尘的相对高发区。

沙尘天气发生日数,南疆明显高于北疆,东部多于西部,平原区多于山区,南疆多发区集中在塔克拉玛干沙漠边缘,尤以民丰,和田最为突出。吐鲁番,哈密是一个次高发区。北疆沙尘天气的高发区位于准噶尔盆在南缘的精河至奇台一带。塔城-额敏盆地,南疆的山区、焉耆盆地、拜城盆地,北疆伊犁河谷地、阿勒泰山地属于沙尘天气的少发区。

表1列出了南北疆20个代表站不同时期沙尘暴发生日数统计值。表2是南北疆50个站平均沙尘暴和浮尘发生日数。新疆沙尘暴影响范围在20站以上的次数,从60年代的25次降到90年代的4次^[5],局地尘暴占大多数。

表 1 新疆 20 个代表站各时期平均年沙尘暴发生日数统计
Table 1 The average Annual duststorm days statistics in Xinjiang China

时期	1961 - 1965	1966 - 1970	1971 - 1975	1976 - 1980	1981 - 1985	1986 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	平均
伊犁	12	9	4	10	9	2	0	2	1.2
阿勒泰	13	2	1	5	5	3	1	0	0.8
塔城	10	7	7	17	40	18	10	1	2.8
托里	4	2	2	1	25	13	2	9	1.5
精河	13	22	21	53	51	10	2	8	4.5
乌苏	33	29	53	37	44	9	14	12	5.8
乌鲁木齐	18	30	62	12	14	5	3	0	3.6
奇台	18	11	17	10	37	12	2	5	2.8
哈密	45	54	54	41	22	29	1	3	6.2
吐鲁番	36	26	15	20	18	25	9	3	3.8
和田			137	128	134	117	79	62	21.9
民丰	192	143	136	165	205	181	146	131	32.5
柯坪	181	170	228	159	139	83	66	51	26.9
喀什	40	54	71	37	52	21	10	18	7.6
莎车	89	84	105	96	90	50	45	34	14.8
阿克苏	56	68	47	47	50	32	7	15	8.1
若羌	83	42	93	104	91	47	43	17	13.0
拜城	14	19	1	10	15	5	1	0	1.6
乌恰	9	3	3	4	20	8	1	0	1.2
和硕	37	31	33	38	34	11	6	2	4.8

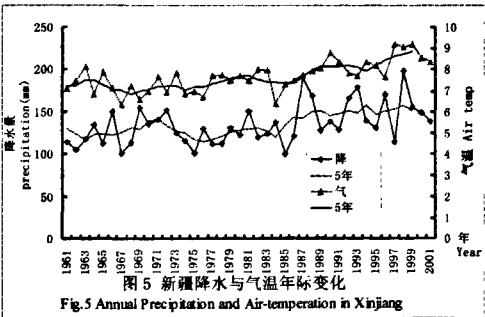
表 2 不同时期南疆和北疆沙尘天气发生日数
Table 2 The dust days in North and South Xinjiang in different periods

Periods	DS days in N. Xj	FD days in N. XJ	DS days in S. XJ	FD days in S. XJ
1961 - 1970	2.0	1.2	10.3	43.4
1971 - 1980	2.4	1.8	10.4	49.6
1981 - 1990	2.2	3.4	8.4	41.7
1991 - 2000	0.6	2.8	4.6	34.1

N - north S - south DS - duststorm FD - floating dust XJ - Xinjiang

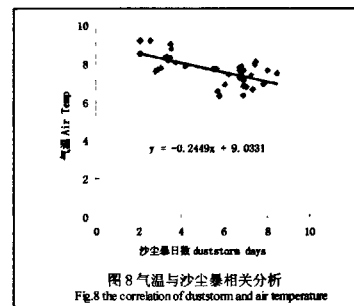
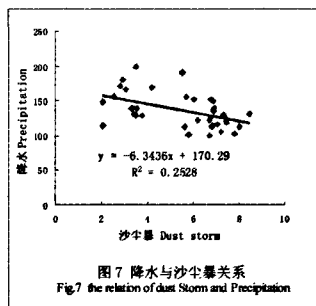
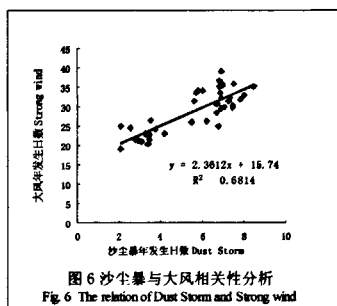
2.2 影响沙尘天气发生的因素

一般认为,形成沙尘天气需要具备 3 个条件:一是需要有丰富的沙尘来源,这是物质基础;二是要有不稳定的大气层结,这是重要的诱发因素,三是要有一定的风力,这是动力条件。新疆的两大沙漠地区,具有极为丰富的沙尘物质来源,在一定的气象条件作用下,可形成沙尘天气,这里根据 50 站的降水、气温、大风日数和沙尘发生日数数据,分析它们之间的相关关系。新疆沙尘天气总体趋势在减少,降水在增加,气温也在增加(见图 5)。



降水与气温的变化趋势一致性较好,降水的增加,可以使地表湿润,减少地表起尘,间接的影响沙尘天气的发生,比较图 2 和图 5 的沙尘暴日数和降水过程线,降水过程和沙尘暴过程刚好相反,1985 年后降水量有较大幅度增加,而沙尘暴发生日数有较大幅度减少,70 年代降水量呈下降趋势,沙尘暴发生日数呈上升趋势。

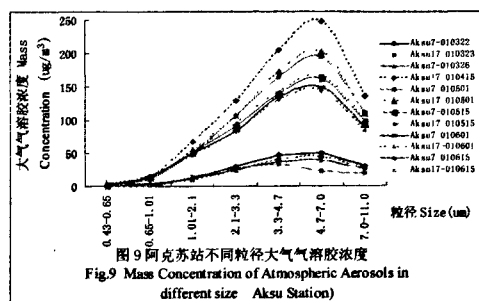
根据大风和沙尘天气资料分析,在时间分布上,大风与沙尘暴年际变化趋势基本一致;在区域分布上,沙尘暴与大风的分布刚好相反,大风的年平均日数北疆多于南疆,中低山区多于平原地区,大风日数的高值区在北疆西部、东疆和南疆西部山区,准噶尔盆地和塔里木盆地的大风年平均发生日数不足 10 天,沙尘暴多的地区大风较少,说明新疆的沙尘暴与下垫面的干湿状况、沙尘粒径状况以及植被覆盖状况关系密切。在年际变化趋势上,南疆和北疆的大风发生日数总体上趋于减少,但幅度较少,与沙尘天气变化过程基本一致。在季节分布上,沙尘暴与大风有很好的-一致性,大风在春夏季最多,5-6 月最为频繁,沙尘暴 4-6 月最多。北疆地区 80% 以上大风日数出现沙尘暴天气,而南疆只有不足 60% 的大风日数出现沙尘暴天气^[6],同时有关研究表明,我国北方沙尘暴出现次数与 850hPa 上中国北方春季气旋出现日数的总体变化趋势相一致^[7]。



由于各地的下垫面条件差别很大,在同样的天气条件下,是否出现沙尘天气,各地会有所差别,图 6 至图 8 是单一的气象因子与沙尘相关性分析,沙尘天气与某一个单一的气象因子均有一定的相关性,但相关系数均不高,说明除了气象因素外,还有其它因子在起作用,沙尘天气的发生是一个地-气系统各因子综合的结果。

3 沙尘的粒径分布和化学组成

3.1 沙尘气溶胶样品采集

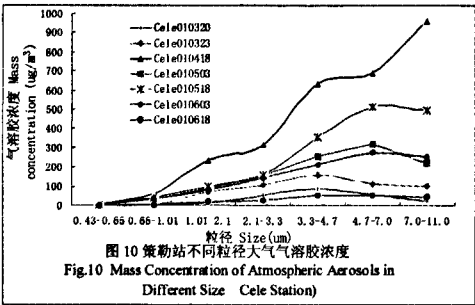


在塔里木盆地以南的中国科学院策勒荒漠观测站和以北的阿克苏水平衡试验站上,分别安装了气溶胶粒子分级采样器(Sibata AN200 型)和大流量总颗粒物气溶胶采样器,(Sibata HV1000F)。其中阿克苏站把仪器安置在气象铁塔 7 米和 17 米的平台上,策勒站安置在 7 米高的房顶上。3 月-7 月份每月采集 2 次,其他月份每月观测 1 次,每次 7 天,春季

3-4 月份多沙尘暴时期安排加强观测期, 每 1-2 天观测一次, 自 2001 年 3 月开始观测至今。

3.2 沙尘气溶胶的粒径分布特征

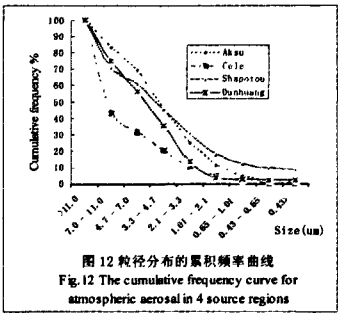
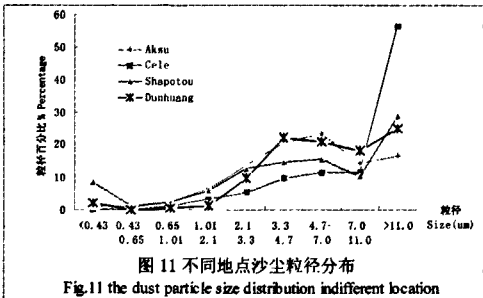
从图 9 图 10 和表 3 中可以清楚的看到不同时间气溶胶粒子的粒径分布。在阿克苏站, 无论在沙尘暴期间, 还是在非沙尘暴期间, 在 4.7-7.0 μm 段均呈现最大值, 沙尘暴期间粗粒径粒子的比例有所上升; 在策勒站, 非沙尘暴期间, 在 4.7-7.0 μm 段或 3.3-4.7 μm 段呈现最大值, 但在沙尘暴期间, 最大粒间 (>11 μm) 部分均呈现最大值, 而且比例超过 50%



(见表 3)。图 11 和表 3 列出了尘源区 4 个区, 平均沙尘气溶胶粒径的分布, 可以看出, 除阿克苏站外, 策勒、沙坡头、敦煌的最大粒径分布均出现在 >11 μm 段, 其中以策勒站所占比例最大, 沙坡头、敦煌次之, 但均在 4.7-7.0 μm 段或 3.3-4.7 μm 段出现次集中分布; 粒径分布 <2.1 μm 的比例, 沙坡头是 18.25%, 阿克苏站是 11.25%, 敦煌是 13.51%, 策勒最少占 10.47%, 粒径在 2.1-11 μm 的比例, 四站分别是 52.97%、72.13%、71.15% 和 38.55%。小于 11 μm 的细粒最多的站是阿克苏, 依次为敦煌、沙坡头和策勒, 这与各地的沙尘源条件有密切的关系。阿克苏和敦煌位于绿洲农区的细土平原, 策勒位于戈壁沙漠边缘。图 12 是尘源区 4 个站的沙尘粒径分布的累积频率曲线。>2.1 μm 和 <2.1 μm 的气溶胶粒子的比值, 在沙尘暴期间均大于非沙尘暴期间, 沙尘暴期间有更多的粗颗粒沙尘进入大气, 但是, 不同时段这一比值差别较大。说明地表沙尘源及气候条件不同。

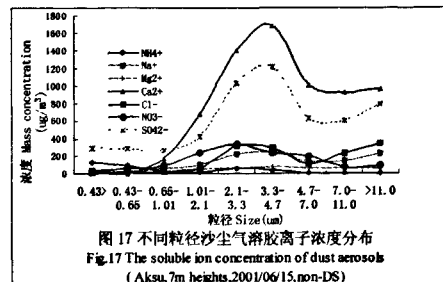
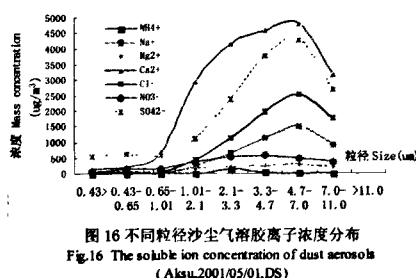
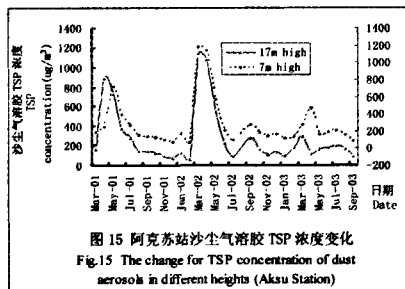
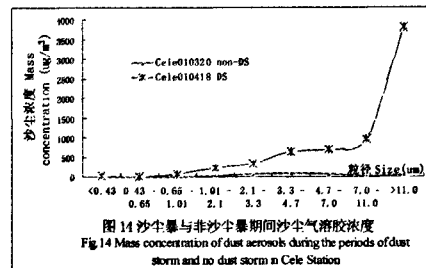
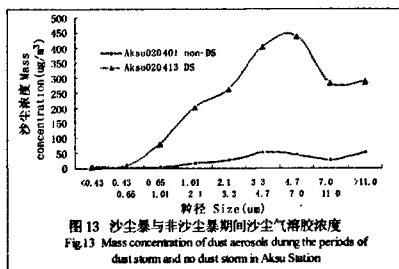
表 3 不同粒径沙尘气溶胶的频率分布(4 站)
Table 3 The frequency distribution for different dust aerosol size

Size (μm)	Aksu	Cele	Shapotou	Dunhuang
> 11.0	16.62	56.52	28.78	25.07
7.0 - 11.0	14.26	11.71	10.30	18.30
4.7 - 7.0	23.39	11.40	15.47	20.86
3.3 - 4.7	20.66	9.90	14.55	22.26
2.1 - 3.3	13.81	5.54	12.65	9.73
1.01 - 2.1	6.60	3.39	6.09	1.23
0.65 - 1.01	2.41	1.07	2.56	0.46
0.43 - 0.65	0.92	0.13	1.10	0.00
0.43 >	1.32	0.35	8.50	2.09



3.3 沙尘气溶胶的浓度分布特征

从图 13 和图 14 可以看出,沙尘气溶胶浓度差别巨大。阿克苏站 2001 年 4 月 15 日和 2002 年 4 月 13 日沙尘暴期间,收集到的大气气溶胶总浓度分别是 $2044.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $2184\mu\text{g}/\text{m}^3$,而非沙尘暴期间的 3 月 23 日和 4 月 1 日,大气气溶胶总浓度分别是 $332.19\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $173.19\mu\text{g}/\text{m}^3$,相差 6.15 倍和 12.6 倍,策勒站 2001 年 4 月 18 日和 5 月 18 日沙尘暴期间的大气气溶胶总浓度是 $10570.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $5773.3\mu\text{g}/\text{m}^3$,是 3 月 20 日和 6 月 18 日非沙尘暴期间浓度分别是 $316.00\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $365.91\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 33.4 倍和 15.8 倍。敦煌站 2002 年 4 月 7 日和 13 日,沙尘暴期间的 TSP 浓度分别是 $1604.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $6197.3\mu\text{g}/\text{m}^3$,是非沙尘暴期的 4 月 11 日 $299.32\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 4 月 14 日和 $578.01\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 5.35 倍和 10.7 倍。沙坡头站 2002 年 4 月 10 日沙尘暴期间的 TSP 浓度 $3274.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 是非沙尘暴期间 2002 年 4 月 18 日 TSP 深度 $316.86\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的 10.3 倍。



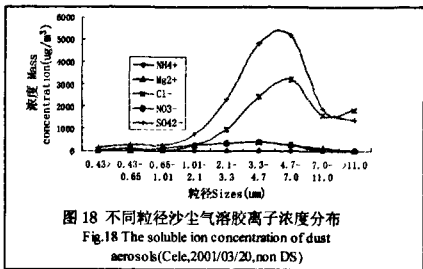


图 18 不同粒径沙尘气溶胶离子浓度分布
Fig.18 The soluble ion concentration of dust aerosols(Cele,2001/03/20,non DS)

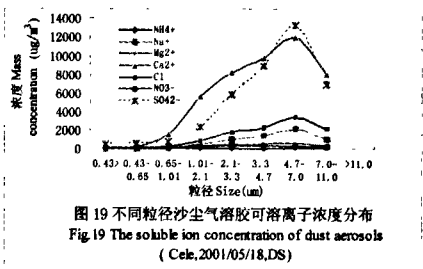


图 19 不同粒径沙尘气溶胶可溶离子浓度分布
Fig.19 The soluble ion concentration of dust aerosols (Cele,2001/05/18,DS)

比较源区 4 站沙尘暴与非沙尘暴期间的 TSP 浓度,可以看出,策勒站最高,非沙尘暴与沙尘暴期间的质量浓度也差别最大,同一时期沙尘暴质量浓度,策勒站可以高出阿克苏站 5 倍以上。

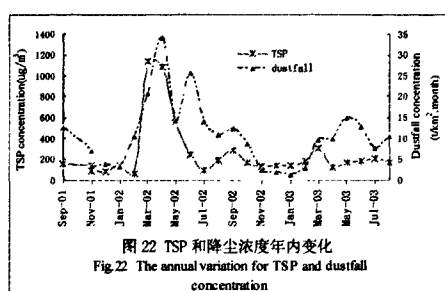
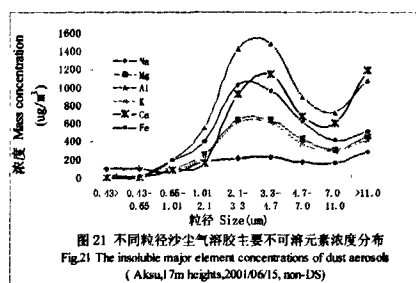
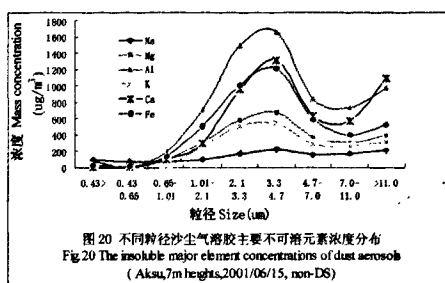
TSP 浓度从不同季节的分配来看 (见图 15), 春季 4-5 月 有一峰值, 最低值出现在 12 月-1 月,不同发生 TSP 浓度变化趋势完全一致。

3.4 塔克拉玛干沙漠尘源区气溶胶的化学组成。

由图 16. 17. 18 和表 4 可以看出, 气溶胶粒子的水溶性成分, 无论是在沙尘暴和非沙尘暴期间, 还是在不同高度 (7m, 17 m), 阳离子中 Ca^{2+} 为最高, 约占 40% 左右, 阴离子中相比 SO_4^{2-} 的最高可溶性最大的占 30% 左右。比较策勒和阿克苏两地 (图 19 图 16), 沙尘暴期间, 各种可溶性离子浓度在不同粒径段的比例均呈一致性分布, 在 $4.7-7.0\mu\text{m}$ 范围内出现最大值, 在非沙尘暴期间, 各种离子浓度的最大值出现在 $3.3-4.7\mu\text{m}$ 粒子段。

表 4 可溶性离子与不可溶元素质量浓度比较
Table 4 Mass concentration of soluble ion and insoluble elements

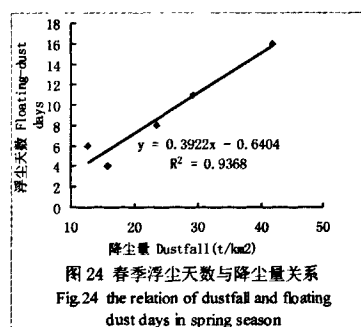
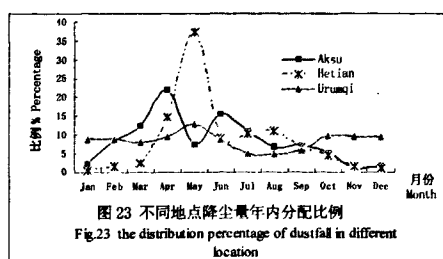
Soluble ion	Duststorm		Non - Duststorm			
	2001 - 5 - 1, Aksu, 7m		2001/06/15, Aksu, 7m		2001/06/15, Aksu, 17m	
	concentration		concentration		concentration	
ion	(ng/m ³)	%	(ng/m ³)	%	(ng/m ³)	%
NH ₄ ⁺	211. 41	0. 40	382. 02	2. 21	391. 94	2. 17
Na ⁺	4607. 47	8. 64	1221. 72	7. 07	1261. 25	6. 97
Mg ²⁺	1274. 59	2. 39	427. 43	2. 47	469. 35	2. 59
Ca ²⁺	20698. 04	38. 82	6902. 43	39. 94	7527. 9	41. 59
Cl ⁻	7938. 84	14. 89	1409. 98	8. 16	1393. 15	7. 70
CO ₃ ⁻	2685. 04	5. 04	1396. 08	8. 08	1302. 26	7. 20
SO ₄ ²⁻	15907. 28	29. 83	5543. 09	32. 07	5753. 6	31. 79
Insoluble elements						
Na			1247. 44	5. 61	1480. 79	6. 62
Mg			2709. 53	12. 19	2830. 38	12. 65
Al			6692. 53	30. 11	6360. 52	28. 43
K			2173. 98	9. 78	2755. 59	12. 32
Ca			4964. 6	22. 34	4780. 06	21. 37
Fe			4436. 12	19. 96	4161. 62	18. 60
TSP	774. 3 (µg/m ³)		153. 51 (µg/m ³)		150. 65 (µg/m ³)	



从图 20, 图 21 可以看出, 沙尘气溶胶中主要不可溶元素, 在非沙尘暴期间, 最大离子浓度出现在 $3.3 - 4.7\mu\text{m}$ 之间, 各种元素在不同粒径段的比例也呈一致性分布规律。Al 在主要元素中的含量最高, 约占 30% 左右, Ca 的含量约占 22% 左右。Fe 的含量 19% 左右。从富集系数看 (以 Al 作为参考元素), Na、Mg、K、Ca、Fe 等 5 种元素的富集系数分别为 1.59、2.50、1.24、2.51 和 1.03^[8]。表明这些元素主要来源于地表层, 各种沙尘天气发生时, 均以亲地元素的浓度为最高。 Cl^- 的含量在沙尘暴期间比例明显增加, 从 8.16% 增加到 14.89%, 是由于地表层土壤中 Cl^- 盐含量较高, 在尘暴的作用下进入大气中。在策勒的沙尘中没有 NH_4^+ 的成份, 说明策勒沙尘源以戈壁荒漠中的沙尘物质为主, 而阿克苏是以绿洲农区耕作层的尘源为主。

3.5 降尘和 TSP 关系

沙尘天气产生的沙尘颗粒, 除一部分远距离输送到东部和北太平洋外, 大部分会以降尘的方式在尘源区降落。图 22 是阿克苏站从 2001 年 9 月至 2003 年 8 月的总悬浮颗粒物 TSP 和降尘的逐月变化过程曲线, 说明降尘和 TSP 有一点的相关性。降尘在沙尘天气发生高发期的春季 4-6 月最高。不同地点由于降尘来源的不同有所差别, 图 23 显示了和田, 阿克苏和乌鲁木齐 3 个地区降尘的年内分布, 阿克苏和田绝大部分降尘来源于地表沙尘源, 而只有一个春季峰值。而乌鲁木齐表现为两个峰值。春季的峰值主要来源于沙尘天气, 冬季的峰值主要来源于冬季的粉尘污染, 从年内分布看, 和田在 4-6 月份有一明显的峰值, 绝对值要比阿克苏大, 乌鲁木齐年内分布相对均匀些。在尘源区春季的沙尘日数, 与春季的降尘量有良好的相关性。图 24 是拟合的关系曲线。



4 结论

近 40 年以来,新疆的沙尘天气总趋势在减少,降水在增加,气温升高;春季 4-5 月份是沙尘天气的高发期,北疆 4 月最多,南疆 5 月最多;沙尘天气发生与大风、降水、气温等的变化有一定的相关关系。

塔克拉玛干沙漠区的沙尘气溶胶粒径分布在 4.7-7.0 μm 段或 3.3-4.7 μm 段出现值峰;不同地点不同时期沙尘气溶胶浓度差别较大,在沙尘暴期间,沙尘中粗粒径颗粒比例增加,沙尘气溶胶浓度一般可增加 10-30 倍,策勒站的浓度可高出阿克苏站 5 倍。

沙尘暴期间,各种可溶性离子浓度在不同粒径段的比例均呈一致性分布,在 4.7-7.0 μm 范围内出现最大值,在非沙尘暴期间,各种离子浓度的最大值出现在 3.3-4.7 μm 粒子段;各种元素在不同粒径段的比例也呈一致性分布规律。

参考文献

- [1] 王式功 王金艳 周自江 尚可政 杨德保 赵宗锁,中国沙尘天气的区域特征,地理学报 Vol. 58(2),2003,p193-200
- [2] 张小曳,亚洲粉尘的源区分布、释放、输送、沉降与黄土堆积,第四纪研究,Vol. 21(1),2001,p29-37
- [3] 王旭 马禹 汪宏伟 陶祖钰,北疆沙尘暴天气气候特征分析,北京大学学报(自然科学版),Vol. 38(5),2002,p681-687
- [4] 沙拉买提,塔里木盆地沙尘暴的历时分布特征,干旱区研究,Vol. 13(3),1996,p21-27
- [5] 崔彩霞,新疆近 40 年的气候变化与沙尘暴趋势分析,气象,Vol. 27(12),2001,p38-41
- [6] 陈洪武 王旭 马禹,大风对新疆沙尘暴的影响,北京大学学报(自然科学版),Vol. 39(2),2003,p187-193
- [7] 全林生 时小英 朱亚芬 钱维宏,中国沙尘暴天气变化的时空特征及气候原因,地理学报,Vol. 56(4),2001,p477-485
- [8] 高卫东 魏文寿 刘明哲,塔里木盆地地区沙尘气溶胶特征分析,干旱区地理,Vol. 25(2),2002,p165-169